

ПРОЦЕССЫ ПЕРЕМАГНИЧИВАНИЯ В СПЕЧЁННЫХ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТАХ $\text{Sm}(\text{Co}, \text{Fe}, \text{Zr}, \text{Cu})_z$

Уржумцев А.Н.¹, Мальцева В.Е.¹, Волегов А.С.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: andrei.urzhumtsev@urfu.ru

MAGNETIZATION REVERSAL PROCESSES IN SINTERED PERMANENT MAGNETS $\text{Sm}(\text{Co}, \text{Fe}, \text{Zr}, \text{Cu})_z$

Urzhumtsev A.N.¹, Maltseva V.E.¹, Volegov A.S.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

The magnetic properties of permanent magnets $\text{Sm}(\text{Co}_{0.796-x}\text{Fe}_{0.177}\text{Cu}_x\text{Zr}_{0.027})_{6.63}$ ($x = 0.117$ and 0.131) were investigated. A model of magnetization reversal processes is proposed to explain why in some the magnets exhibit a pinning mechanism of magnetization reversal and in some a nucleation.

В условиях повышенных температур эксплуатации, где требуется высокая стабильность магнитных свойств, применяются постоянные магниты (ПМ) $\text{Sm}(\text{Co}, \text{Fe}, \text{Zr}, \text{Cu})_z$ ($z = 6,5 - 8,5$). Эти материалы уже достаточно изучены, однако, механизм их перемагничивания и природа формирования их гистерезисных свойств до сих пор остаются дискуссионными.

Существует несколько концепций механизмов высококоэрцитивного состояния магнитотвердых материалов. Первой была сформулирована модель пиннинга (pinning), основная идея которой заключается в задержке движения доменной стенки [1]. Позднее, для материалов Альни и Альнико, в которых ключевую роль в коэрцитивности играет фактор формы магнитных зёрен, разработана модель Стонера-Вольфарта [2] суть которой заключается в необратимом вращении векторов намагниченности. Последней, с появлением керамических ПМ SmCo_5 , появилась модель нуклеации (nucleation), идея которой заключается в поглощении доменов с энергетически невыгодной ориентацией намагниченности доменами с противоположной ориентацией намагниченности в процессе намагничивания и «невозникновении» доменной границы в отрицательных магнитных полях.

Исследованы спечённые ПМ $\text{Sm}(\text{Co}_{0.796-x}\text{Fe}_{0.177}\text{Cu}_x\text{Zr}_{0.027})_{6.63}$, где $x = 0.078$ (образец А) и 0.117 (образец В), произведенные на ООО «ПОЗ-Прогресс» в г. Верхняя Пышма. Измерения магнитных свойств образцов проводились в полях с индукцией до 9 Тл при температуре 300 К на измерительных установках PPMS DynaCool и MPMS-XL-7 EC производства Quantum Design.

На рисунке 1а и 1б представлены кривые намагничивания и предельная петля гистерезиса образцов А и В вдоль оси текстуры магнита. Кривые намагничивания

имеют перегиб и характеризуются областями с различной магнитной восприимчивостью.

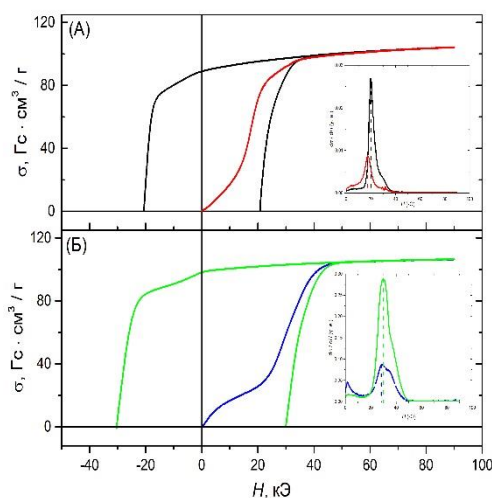


Рис. 1. Основные петли гистерезиса и общая магнитная восприимчивость образцов А и Б

В целом, процессы перемагничивания более сложны, чем исключительно пиннинг [3]. Обнаружена аномалия обратимого изменения намагниченности с увеличением поля. Аномалия присутствует и на участках кривых магнитной восприимчивости.

Предлагается модель механизма перемагничивания, нацеленная объяснить всю совокупность свойств ПМ $\text{Sm}(\text{Co}, \text{Fe}, \text{Zr}, \text{Cu})_z$ [4]. Суть модели заключается в следующем. В размагничивающем поле ламели богатой Zr фазы, обменно-связанные с основной фазой $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$, перемагничиваются. Из-за относительно слабого обменного взаимодействия между этими фазами доменная граница не переходит из одной фазы в другую. Вместо этого поле зародышеобразования в фазе $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ уменьшается за счет обменного взаимодействия. Критическое поле зарождения и закрепления доменных границ на границе фазы $\text{Sm}(\text{Cu}, \text{Co})_5$ примерно одинаковы, и поэтому в разных экспериментах наблюдаются результаты, характерные для одного из этих механизмов. Предложенная модель позволит объяснить особенности резкой зависимости коэрцитивной силы магнитов $\text{Sm}(\text{Co}, \text{Fe}, \text{Zr}, \text{Cu})_z$ от режимов термообработки, что пока не удавалось удовлетворительно сделать в предположении модели пиннинга.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РФФИ № 20-32-90211.

1. S. V. Vonsovsky, Ya. S. Shur, Ferromagnetism - L.: State publishing house of technical and theoretical literature 840 (1948).
2. E. C. Stoner and E. P. Wohlfarth, Phil. Trans. R. Soc. A 240, 599 (1948).
3. A. N. Urzhumtsev et al, J. Phys.: Conf. Ser. 1389, 012115 (2019).
4. A. Urzhumtsev, V. Maltseva, A. Volegov, J. Magn. Magn. Mater. 551, 169143 (2022).